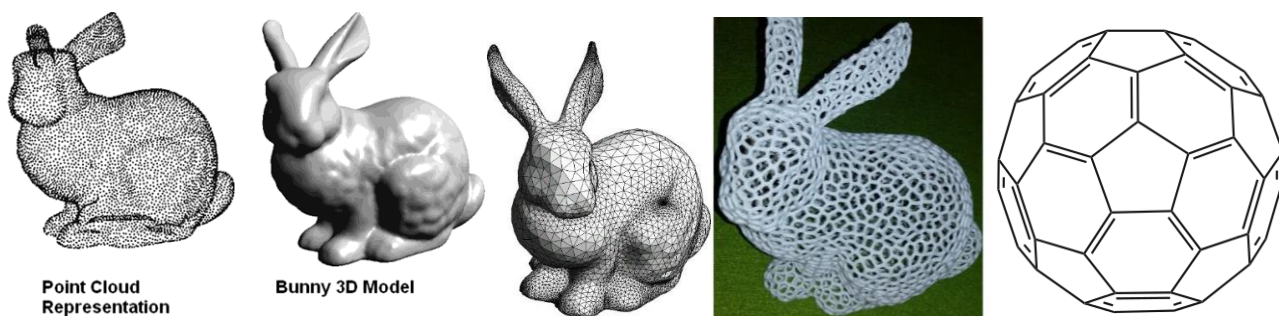


Podpora poznámok PG3 7. 10. 2020, animácia

Nevyhnutnou etapou pred grafickým zobrazením je **geometrické modelovanie**. V počítačovej grafike sa používa 5 až 7 geometrických súradnicových systémov, ak nerátame ďalšie, ktoré treba na farby alebo pre multimédiá (zvuk, interakcia). Nasleduje charakteristika 5 súradnicových systémov pre 2D a 3D grafiku podľa ISO noriem CGRM, PREMO, PHIGS (Ružický, kapitoly 16-20):

- modelové (pre objekty, lokálne súradnice pre každý objekt)
- svetové (scéna, kde sa objekty kombinujú)
- normalizované, interné pre grafický systém
- pohľadu, kamery (view, eye)
- zariadenia (DC, device coordinates)

Šiesty súradnicový systém sa označuje TLC (text local coordinates), v ktorom návrhári fontu reprezentujú krivky pre true type fonty. Tieto súradnice sú obdobou modelových pre grafický výstupný prvok text. Siedmy súradnicový systém sa v prípade potreby používa na textúrovanie povrchu objektov a pre tieto súradnice sa zaužívalo označenie (u, v) . Okrem toho sa používajú aj súradnice na vyjadrenie polohy svetelného zdroja pre výpočet viditeľnosti či osvetlenia, alebo sa môže zaviesť pre potreby interakcie rozdelenie obrazovej alebo pracovnej plochy do nejakých vhodných častí. Existujú aj ďalšie, tzv. multimediálne súradnice (napr. na vyjadrenie polohy záznamu v excelovskej tabuľke, spreadsheet). Pri každom súradnicovom systéme treba zvoliť počiatok, osi, orientáciu a pomer strán. Po zavedení súradníc možno už geometriu scény a jej transformácie vhodne vyjadriť pomocou lineárnej alebo nelineárnej algebry a maticového vyjadrenia afinných transformácií a projekcií.



Obrázky z internetu ilustrujú oblak nameraných bodov, Phongom osvetlený povrchový model, Delaunayov mesh a k nemu duálne Voronoiove oblasti. Drôtový model molekuly fullerénu C_{60} naznačuje, že aj „matka Príroda“ pozná Voronoiov diagram v mikrosvete. Dizajn nevedomky prevzali aj futbalisti...

Objekty v scéne sa v počítačovej grafike reprezentujú ako oblak bodov, drôtový model, hraničná reprezentácia (najčastejšie sa povrch objektu aproximuje nepravidelnou trojuholníkovou sieťou, ktorej sa hovorí mesh) alebo objemová reprezentácia (volume graphics). Na všetky tieto reprezentácie treba používať efektívne dátové štruktúry. Priemyselným štandardom pre väčšinu aplikácií počítačovej grafiky a vizualizácie je hraničná reprezentácia a reprezentatívnym kódovaním 3D scén je formát VRML (Virtual Reality Modeling Language, norma ISO, i novšia verzia

X3D), v ktorom môžu byť do scény zahrnuté aj objekty, adresované na inom počítači po internete použitím URL (Uniform Resource Locator). Na zložitejšie aplikácie treba objekty vyjadrovať pomocou povrchov s viacerými úrovňami detailu (level of details). VRML podporuje 8 úrovní. Pre niektoré operácie ako morphing býva najvhodnejšie mať objekt reprezentovaný funkcionálne (F-rep).

Z matematického hľadiska vyjadrujeme objekt najčastejšie parametricky, no známe objekty zapisujeme aj analyticky alebo implicitne. Informaticky môžeme objekt deklarovať, guľa v jazyku VRML Sphere, v X3D červená guľa a rotovaný modrý hranol, napr.

<https://www.web3d.org/x3d/content/examples/Basic/X3dSpecifications/RedSphereBlueBoxIndex.html>

Modely získame pomocou krokov, ktoré sumarizuje **metodika matematického modelovania**:

1. Analýza problému, ktorej výsledkom je exaktný popis modelu (napr. modelové rovnice).
2. Analýza modelu problému, ktorej výsledkom je algoritmus na riešenie problému.
3. Analýza algoritmu, ktorej výsledkom je program.
4. Výpočet zvolených úloh, ktorých výstupom sú údaje-výsledky.
5. Analýza výsledkov, ktorej syntézou by malo byť riešenie problému.

Z každej nasledujúcej etapy sa možno v prípade potreby vrátiť do niektorej predchádzajúcej a spresniť model, algoritmus, program, výstupné údaje.)

Metodika zobrazovania má 4 etapy:

1. Určenie objektov, ktoré sa budú zobrazovať. (Nie všetko z modelu sa vždy zobrazuje!)
2. Geometrický popis symbolov, ktoré budú dané objekty reprezentovať.
3. Vyjadrenie geometrického popisu symbolov v grafických prvkoch daného grafického systému.
4. Samotné zobrazenie.

Metodika návrhu dialógu (interakcie) má tiež 4 časti (vrstvy). Jazyk dialógu má byť pohotový a úplny a má umožňovať spätnú väzbu.

1. pojmový (používateľský aplikačný model)
2. sémantický (činnosť a stav systému, napr. aké akcie možno zadať)
3. syntaktický (pravidlá dialógu, napr. ktoré akcie sa vylučujú);
4. lexikálny (ako sformovať symbol jazyka z hardverových primitívov, napr. ktorá klávesa znamená danú akciu operátora, napr. CTRL-ALT-DEL).

Postupom v rámci uvedených metodík vytvárame jednak model (dáta), jednak interaktívny grafický program (funkčnosť, súbor metód) na prácu s konkrétnym aplikačným modelom. Po modelovaní možno objekt zobraziť. Ako na to?

Vo všeobecnosti pracujeme v 8-rozmernom priestore parametrov (x,y,z,t,r,g,b, α) pre grafické objekty, prezentované v danej scéne, minimalizujeme chyby geometrické, rádiometrické a kinematické modelovaním a/alebo meraním. Vo virtuálnej realite pristupuje navyše kritérium uveriteľnosti. Parameter α vyjadruje priehľadnosť v intervale $[0,1]$, (r, g, b) predstavuje hodnoty farieb v modeli RGB, t znamená čas a (x, y, z) označujú priestorové súradnice v rozšírenom euklidovskom priestore. Ideálna by bola univerzálna dátová reprezentácia, no za grafický objekt volíme takú úroveň abstrakcie, aby sa daná scéna efektívne modelovala a renderovala. Pri animácii sa používa aj charakteristika objektu stupňom voľnosti, bod má dva, štvorec v rovine štyri (polohu stredu, dĺžku strany, natočenie). Matematicky je objekt svojou geometriou podmnožinou roviny alebo priestoru a svojím vzhľadom nosičom atribútov ako farba či priehľadnosť. Na rýchle zobrazenie ho však musíme stripifikovať, štvorec dvomi, kocku 12 šikovne usporiadanými trojuholníkmi, jediným pásom. Pracujeme teda s objektami, ktoré majú nekonečný počet bodov, no ktoré vieme konečne reprezentovať a v konečnom čase zobraziť. Trojuholník zadáme tromi bodmi a vykreslíme v rastru.

Scéna sa zapisuje najčastejšie grafom scény (ako jednotlivý objekt CGS-stromom) a **animácia** či **interakcia** modifikáciou grafu scény, napr.

3 minúty <https://www.youtube.com/watch?v=NH3J6Z5jKmM>

15 minút, pre programátorov hier <https://www.youtube.com/watch?v=ktz9AlMSEoA>

Asi treba priznať, že vedome modelujeme a zobrazujeme s chybami: „chyba nie je vždy zlá. Vskutku, akceptovateľná chyba môže byť Vaším priateľom, poskytuje nám priestor na vyladenie a voľbu kde čo simulovať“ (voľne preložené z Hughes et al. s. 989, tu je aj celý obsah 38 kapitoly našej „grafickej biblie“ <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780321399526/samplepages/0321399528.pdf>,). Ako teda grafický objekt zobraziť? Navzorkovať na jeho viditeľnom povrchu dosť husté body s dosť presnou farbou a premietnuť na dosť presný displej, trojuholník po trojuholníku, pás po páse, postupne všetko, čo nájdeme v grafe scény v danom pohľade kamery. Cieľom je fotorealizmus (s výnimkou kapitoly 34 Expressive Rendering) a uveriteľná virtuálna realita.

ANIMÁCIA (neuvedená v učebnici Ružický)

Základné techniky

Medzinárodná norma PREMO (Presentation Environment for Multimedia Objects) [PREM94] definuje animáciu ako postupnosť obrázkov usporiadaných v čase na zobrazenie ako video. Toto pokrýva všetky zmeny, ktoré majú vizuálny efekt, t. j. v čase sa mení pozícia, tvar, farba, priehľadnosť, štruktúra a textúra objektu, ako aj osvetlenie, poloha kamery, jej orientácia a ohnisková vzdialenosť, ba aj technika renderingu. Mimochodom, táto definícia uvádza všetky možnosti, ktoré môže režisér použiť medzi dvoma susednými políčkami animovaného filmu.

Treba poznamenať, že postupnosť obrázkov môžeme získať aj videokamerou, napr. snímaním jednotlivých políčok nakreslených v klasickom animačnom štúdiu. V takom prípade hovoríme o klasickej animácii. Ak sme pri získaní políčok nepoužili počítač ani kreslenie, hovoríme o videozázname. Medzi animáciou a videom existujú aj ďalšie možnosti, napr. odpaľovanie náloží počítačom ako vo filme Bonnie and Clyde alebo kolorovanie starých Č/B PA3 filmov (Casablanca, Laurel a Hardy...).

Platí tu presne tá istá analógia ako medzi syntetickým obrázkom a prirodzeným obrazom. Pre animáciu poznáme aj 2D alebo 3D model, video podobne ako skener iba sníma. Model nemusíme poznať. V oboch prípadoch máme napokon animovanú sekvenciu, postupnosť políčok. Autor audiovizuálneho diela môže kombinovať obrazový materiál nezávislo od jeho pôvodu. (Výpoveď alebo príbeh môže aj vizualizačne vyrásť z dát, napr. From Visual Exploration to Storytelling and Back Again <https://www.youtube.com/watch?v=r1DZGIYIFRo>)

Animačná sekvencia sa navrhuje v nasledujúcich krokoch [Hear94, s. 584]:

- * Scenár (*storyboard layout*)
- * Definície objektov (*object definitions*)
- * Špecifikácie políčok (*key-frame specifications*)
- * Generovanie medzipolíčok (*generation of in-between frames*)

Scenár je náčrtom akcie. Definuje postupnosť pohybu (pohybov) ako súbor základných udalostí, ktoré treba predstaviť, ktoré sa musia stať. V závislosti na type animácie môže byť scenár súborom nákresov alebo zoznamom základných nápadov pre pohyb.

Definícia objektu sa robí pre každého účastníka akcie. Objekty možno definovať ako základné tvary (polygóny, splajny). Navyše môže byť pre každý tvar stanovený súbor pohybov.

Políčko (key frame, kľúčová snímka) predstavuje detailné vykreslenie statickej scény v danom čase niekde v animačnej sekvencii. Každý objekt sa lokalizuje na tom mieste, kde má byť v danom políčku. Niektoré políčka sú pre postupnosť zásadné, iné sa vyberajú na doplnenie tak, aby ich vzdialenosti v čase neboli priveľké. (Pripomeňme, že bežná televízna norma PAL/SECAM vyžaduje 25 políčok za sekundu.) Viac políčok si vyžadujú zložité a rýchle pohyby, kým na pomalé a jednoduché pohyby postačuje menej políčok.

Medzipolíčka (*in-betweens*) sa používajú na doplnenie potrebnej frekvencie zrkového vnemu u ľudí. Film používa 24 políčok, kým grafické obrazovky až 60 (včela sníma až 300 políčok za sekundu). V závislosti na rýchlosti pohybu možno niektoré políčka zdvojiť. Na minútový film bez zdvojenia potrebujeme 1440 políčok (*frames*), kým pri použití piatich medzipolíčok vystačíme iba s 288 políčkami. Ak navyše pohyb nie je priveľmi komplikovaný, môžeme políčka rozmiestniť v čase ešte vzdialenejšie.

Okrem horeuvedených 4 úloh treba na dokončovanie sekvencie alebo celého audiovizuálneho diela riešiť ešte viaceré ďalšie, napr. verifikáciu pohybu, editovanie a produkciu a synchronizáciu zvukovej nahrávky.

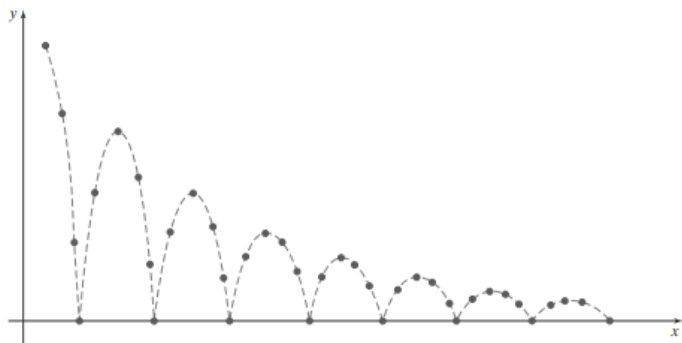
Všeobecné funkcie pre počítačovú animáciu (výber)

Niektoré etapy animácie sa výnimočne hodia na počítačové spracovanie. Vytváranie a správa databázy objektov, pohybov, vykresľovanie políčok, generovanie medzipolíčok... Špičkový profesionálny softver (Softimage, Maya) poskytuje aj špeciálne funkcie na návrh animácie.

Funkcie na riadenie kamery zabezpečujú štandardné pohyby ako zoom, švenk a pod. Veľmi žiadané je automatické generovanie medzipolíčok.

Špeciálnym a niekedy potrebným spôsobom animácie je animácia v reálnom čase (*real-time animation*), kedy musí výpočet a zobrazenie políčok stihnúť vzorkovaciu frekvenciu. Horeuvedené celovečerné filmy sa však vytvárali off-line animáciou. Výpočet jediného políčka môže trvať aj na výkonnej platforme desiatky minút.

FIGURE 16
Approximating the motion of a
bouncing ball with a damped sine
function (Eq. 10).



(Hearn-Baker, 2014, p. 376)

Špecifikácie pohybu (úvodný príklad)

Pohyb možno niekedy špecifikovať priamo, napr. pre skákajúcu loptu pre 2D animáciu vieme napísať vzťah pre tlmené kosínusové kmity:

$$y(t) = A \cdot \text{abs}(\cos(\omega t - T)) \exp(-kt),$$

kde A je výška amplitúdy, ω je uhlová frekvencia, T je fázový uhol a k tlmiača konštanta. Modifikujeme absolútnou hodnotou známou funkciu sínus tak, aby lopta skákala nad zemou do výšky A a aby rýchlo klesajúca exponenciálna funkcia tlmila výšku y skackania v čase t podobne ako gravitácia. Tento jednoduchý model napodobuje jednoduchý pohyb, ale je nepresný, lebo sínusoida nepozostáva z parabol, ktoré by sme mali vyhodnocovať, keby sme počítali skutočný gravitačný model padania lopty a jej odrazov.

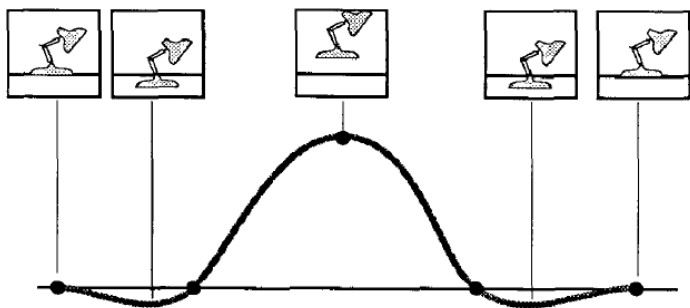


FIGURE 10a. This spline controls the Z (up) translation of Luxo Jr.
Dips in the spline cause him to intersect the floor.

(Lasetter, 1987)

Všeobecným nástrojom na zachytenie pohybu sú krivky v trojrozmernom priestore, ktorými vieme dostatočne hladko pospájať požadované postupnosti bodov. Pri interpolácii rotačných pohybov sa niekedy okrem splajnov používajú aj zovšeobecnené komplexné čísla, kvaternióny [Szir95]. Ak poznáme polohy, možno jednoduchú animáciu v 2D zapísať aj maticami posunutia, rotácie a škálovania a na dané miesto posunúť obrázok loptičky, doterajší obraz prekresliť novým. Inverznej matici tu rozumieme ako spätnému pohybu. Ak prekresliť aj s výpočtom stihneme 24-krát za sekundu, hovoríme o animácii v reálnom čase. Szirmay-Kalos to pre animačnú sekvenciu od času štartu po koniec zapisuje s označením t čas, \mathbf{o} objekt, $\mathbf{T}_{\mathbf{M},\mathbf{o}}$ matica transformácie objektu \mathbf{o} , $\mathbf{T}_{\mathbf{V}}$ matica pohľadu v nasledujúcom pseudokóde.

```
Initialize Timer(  $t_{\text{start}}$  );
do
   $t = \text{Read Timer}$ ;
  for each object  $\mathbf{o}$  do Set modeling transformation:  $\mathbf{T}_{\mathbf{M},\mathbf{o}} = \mathbf{T}_{\mathbf{M},\mathbf{o}}(t)$ ;
  Set viewing transformation:  $\mathbf{T}_{\mathbf{V}} = \mathbf{T}_{\mathbf{V}}(t)$ ;
  Generate Image;
while  $t < t_{\text{end}}$ ;
```

Čas je reálny, má teda jednu minulosť, na rozdiel od virtuálneho, ktorý môže mať dve, kamera môže byť aj zovšeobecnená (nelineárna), podrobnú kapitolu o maticiach ponúka

<https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780321399526/samplepages/0321399528.pdf>

Princípy/Disney

1. *Squash and Stretch* -- Defining the rigidity and mass of an object by distorting its shape during an action.
2. *Timing* -- Spacing actions to define the weight and size of objects and the personality of characters.
3. *Anticipation* -- The preparation for an action.
4. *Staging* -- Presentating an idea so that it is unmistakably clear.
5. *Follow Through and Overlapping Action* -- The termination of an action and establishing its relationship to the next action.
6. *Straight Ahead Action and Pose-To-Pose Action* -- The two contrasting approaches to the creation of movement.
7. *Slow In and Out* -- The spacing of the inbetween frames to achieve subtlety of timing and movement.
8. *Arcs* -- The visual path of action for natural movement.
9. *Exaggeration* -- Accentuating the essence of an idea via the design and the action.
10. *Secondary Action* -- The action of an object resulting from another action,
11. *Appeal* --- Creating a design or an action that the audience enjoys watching.

Slávna sekvencia s cválajúcim koňom a komentár: https://en.wikipedia.org/wiki/Twelve_basic_principles_of_animation

Na <http://www.sccg.sk/ferko/PG3.htm> ilustrácie na slajdoch z TU Graz, kde sa výklad pridrža učebnice

<https://www.amazon.com/Advanced-Animation-Rendering-Techniques-Alan/dp/0201544121>